

INTEGRALE RICOSTRUZIONE PARCHI EOLICI "Vulturara - Motta Montecorvino"

**ADEGUAMENTO TECNICO IMPIANTO EOLICO MEDIANTE INTERVENTO DI REPOWERING
DELLE TORRI ESISTENTI E RIDUZIONE NUMERICA DEGLI AEROGENERATORI**



Edison Rinnovabili Spa
Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano



Progettazione Coordinamento	VEGA sas LANDSCAPE ECOLOGY & URBAN PLANNING Via dell'Art. 40 - 71121 Foggia - Tel. 0881.756251 - Fax 0784412324 mail: info@studiogega.org - website: www.studiogega.org	Studi Ambientali e Paesaggistici	Arch. Antonio Demaio Via N. delli Carri, 48 - 71121 Foggia (FG) Tel. 0881.756251 Fax 1784412324 E-Mail: sit.vega@gmail.com		
Studio Geologico-Idrologico	dott. geol. Di Carlo Matteo Viale Virgilio, 30, 71036 Lucera (FG) Ordine dei Geologi di Puglia n.75 Tel./Fax 0881. Cell. 335.5340316 E-Mail: dicarlotmatteo@hotmail.com		Studio Acustico	Arch. Denora Marianna Via Savona, 3 70022 Altamura (BA) Tel./Fax 080.9162455 Cell. 3315600322 E-Mail: info@studioprogettazioneacustica.it	
Studi Naturalistici e Forestali	Dott. Forestale Luigi Lupo Via Mario Pagano 47 - 71121 Foggia E-Mail: luigilupo@libero.it		Studio Idraulico	Studio di ingegneria Dott.sa Ing. Antonella Laura Giordano Viale degli Aviatori, 73 - 71121 Foggia (FG) Tel./Fax 0881.070126 Cell. 3315600322 E-Mail: lauragiordano@gmail.com	
Progettazione elettrica	STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA MEZZINA dott. ing. Antonio Via T. Solis 128 71016 San Severo (FG) Tel. 0882.228072 Fax 0882.243651 e-mail: info@studiomezzina.net		Studio archeologico	Dott. Francesco Rossi Tel. 340.8065188 E-Mail: dasiuscoop@gmail.com	
Opera	B Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 8 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 52,8 MW nei Comuni di Vulturara Appula - Motta Montecorvino ed opere di connessione nel comune di Vulturara alle località "Coppa S.Pietro - Toppo Crocella" con smantellamento di n. 19 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 11,4 MW.				
Oggetto	Nome Elaborato: VIA_02_86VTAD7-RGTC_Relazione geotecnica		Folder: VIA_02_Relazioni tecniche e di progetto		
	Descrizione Elaborato: Relazione geotecnica				
00	Ottobre 2023	Emissione per progetto definitivo	VEGA	Arch. A. Demaio	Edison Rinnovabili Spa
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione
Scala:	----	B) Integrale Ricostruzione Vulturara - Motta Montecorvino			
Formato:	Codice progetto AU [86VTAD7]				

RELAZIONE GEOTECNICA (preliminare)

OGGETTO:

Integrale Ricostruzione Parchi Eolici “Volturara-MottaMontecorvino”.
Adeguamento tecnico impianto eolico mediante intervento di Repowering delle torri esistenti e riduzione numerica degli aerogeneratori.

COMMITTENTE:

Edison Rinnovabili Spa
Foro Buonaparte 31, 20121 Milano

A handwritten signature in black ink is written over a blue circular stamp. The stamp contains the text "PROVINCIA DI FOGGIA", "ING. CASTRIOTTA LORENZO", and "11/08/2011".

**Il tecnico strutturista
Ing. Castriotta Lorenzo G**

RELAZIONE GEOTECNICA

Sommario

1. PREMESSA	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3. TIPOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI	4
3.1 PROPRIETA' FISICHE E MECCANICHE DEI TERRENI IN SITO.....	6
4. CARATTERISTICHE SISMICHE	8
5. CRITERI DI PROGETTO E MODELLAZIONE GEOTECNICA - VERIFICHE	11
5.1 FONDAZIONI DIRETTE	12
5.2 FONDAZIONI PROFONDE	14
6. CONCLUSIONI	20

• PREMESSA

Nella presente relazione è descritto, in via preliminare e indicativamente, il dimensionamento delle fondazioni degli aerogeneratori dell'intervento di Integrale Ricostruzione di Parchi Eolici denominati "Volturara-Motta" di sostituzione di 19 Wtg da 0,6 MW con 8 Wtg da 6,60 MW prevede una potenza complessiva a 52,8 MW futuri a fronte di 11,4 Mw attuali.

Le elaborazioni di seguito proposte sono da considerare indicative e dovranno essere necessariamente supportate in una fase successiva da indagini in sito e di laboratorio, per meglio caratterizzare i litotipi presenti nel sottosuolo delle diverse aree interessate e individuarne le caratteristiche geotecniche e meccaniche.

Sono illustrati con la presente i risultati dei calcoli che riguardano il progetto preliminare delle fondazioni, la verifica di fattibilità e delle tensioni di lavoro dei materiali e del terreno in funzione delle opere da eseguire.

• NORMATIVA DI RIFERIMENTO

• Legge 64/74

• **DM 11/03/1988** "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno e delle opere di fondazione" e successive modifiche ed integrazioni

• **D.M LL.PP. del 24/01/1986** "Norme tecniche relative alle costruzioni antisismiche"

• **D.M. LL.PP. del 14/01/2008** (G.U n. 29 del 04/02/2008)

• **Circolare del 02/02/2009 n. 617** "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni"

• **D.M. 17/01/2018** pubblicato sul S.O. - G.U 20 febbraio 2018 n. 42 "Norme tecniche per le costruzioni"

• **21 Gennaio 2019, n. 7** "Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni". Circolare del Ministero Infrastrutture e Trasporti

• Raccomandazioni dell'AGI in merito alle indagini geognostiche in situ ed alle indagini geotecniche di laboratorio

• Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) emanato dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale, nello specifico PAI vigente della Regione Puglia.

Stando alla cartografia del Piano Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) dell'AdB Puglia, le aree di sedime delle fondazioni degli aerogeneratori non rientrano in aree soggette a vincolo sia dal punto di vista della pericolosità geomorfologica, che dal punto di vista della pericolosità idraulica. Come da cartografia allegata, scaricata dall'Autorità di Bacino della Puglia, nessuno dei 7 Aerogeneratori ricade in aree vincolate.

I calcoli sono condotti nel pieno rispetto della normativa vigente e, in particolare, la normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo, verifica e progettazione è costituita dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni*, emanate con il D.M. 17/01/2018 pubblicato nel suppl. 8 G.U. 42 del 20/02/2018, nonché per il calcolo delle strutture in oggetto si adotteranno i criteri della Geotecnica e della Scienza delle Costruzioni.

• TIPOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECHICHE DEI TERRENI

Dalla relazione geotecnica fornita dal dott. Geol. **Matteo di Carlo** iscritto al n° 75 dell'ordine dei geologi della Regione Puglia, si evince lo studio effettuato sulla zona di intervento e le varie indagini effettuate per completare la caratterizzazione del sottosuolo in loco sono sufficienti in fase preliminare di modellare le fondazioni delle opere in costruzioni.

La Caratterizzazione e la Modellazione Geologica del Sito è stata eseguita con la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, della pericolosità geologica del territorio.

In considerazione degli interventi da realizzare e della complessità del contesto geologico sono state eseguite specifiche indagini finalizzate alla documentata ricostruzione del "modello geologico".

I metodi e i risultati delle indagini sono esaurientemente esposti e commentati nella Relazione Geologica redatta dal Geologo Matteo di Carlo dalla quale si evincono le seguenti caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni interessati dall'intervento.

- **Zona di intervento**

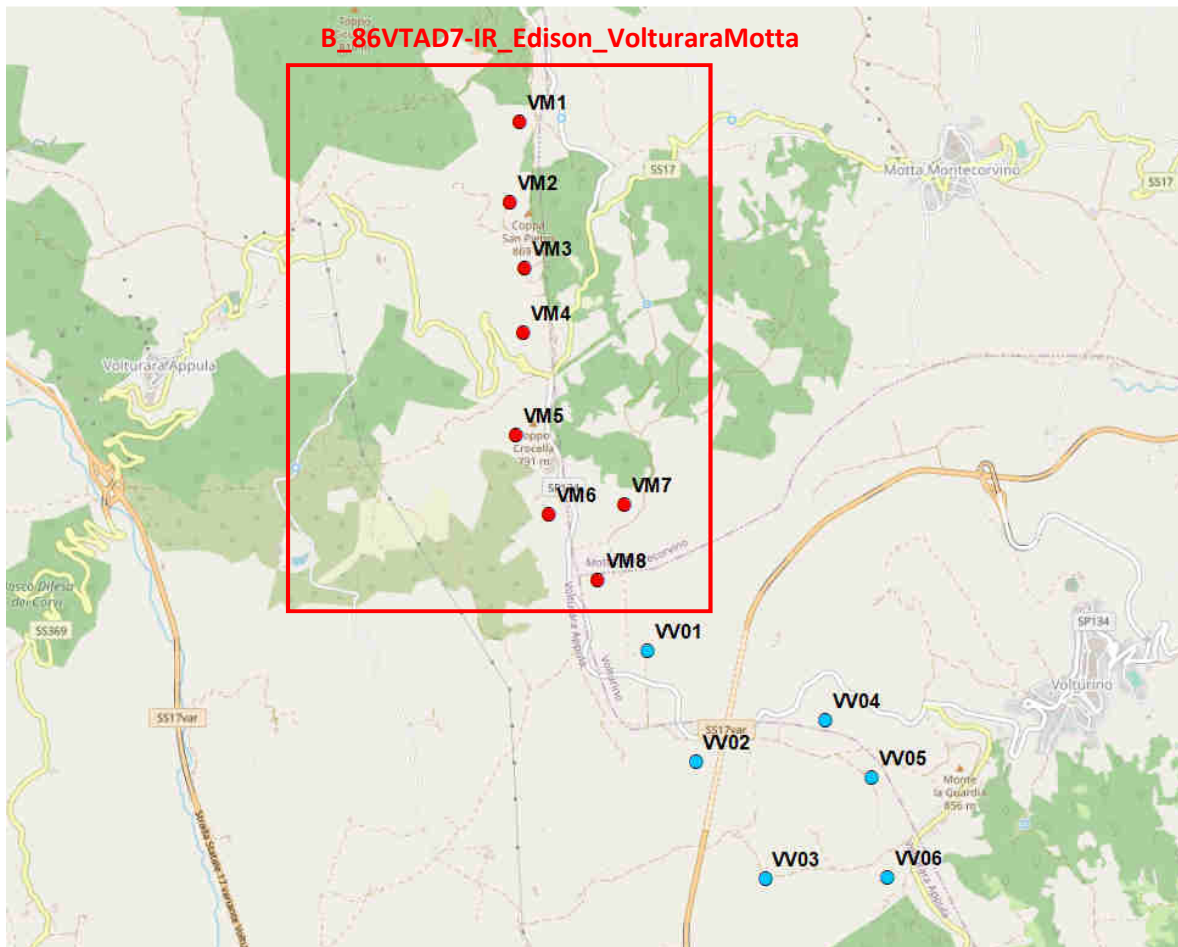
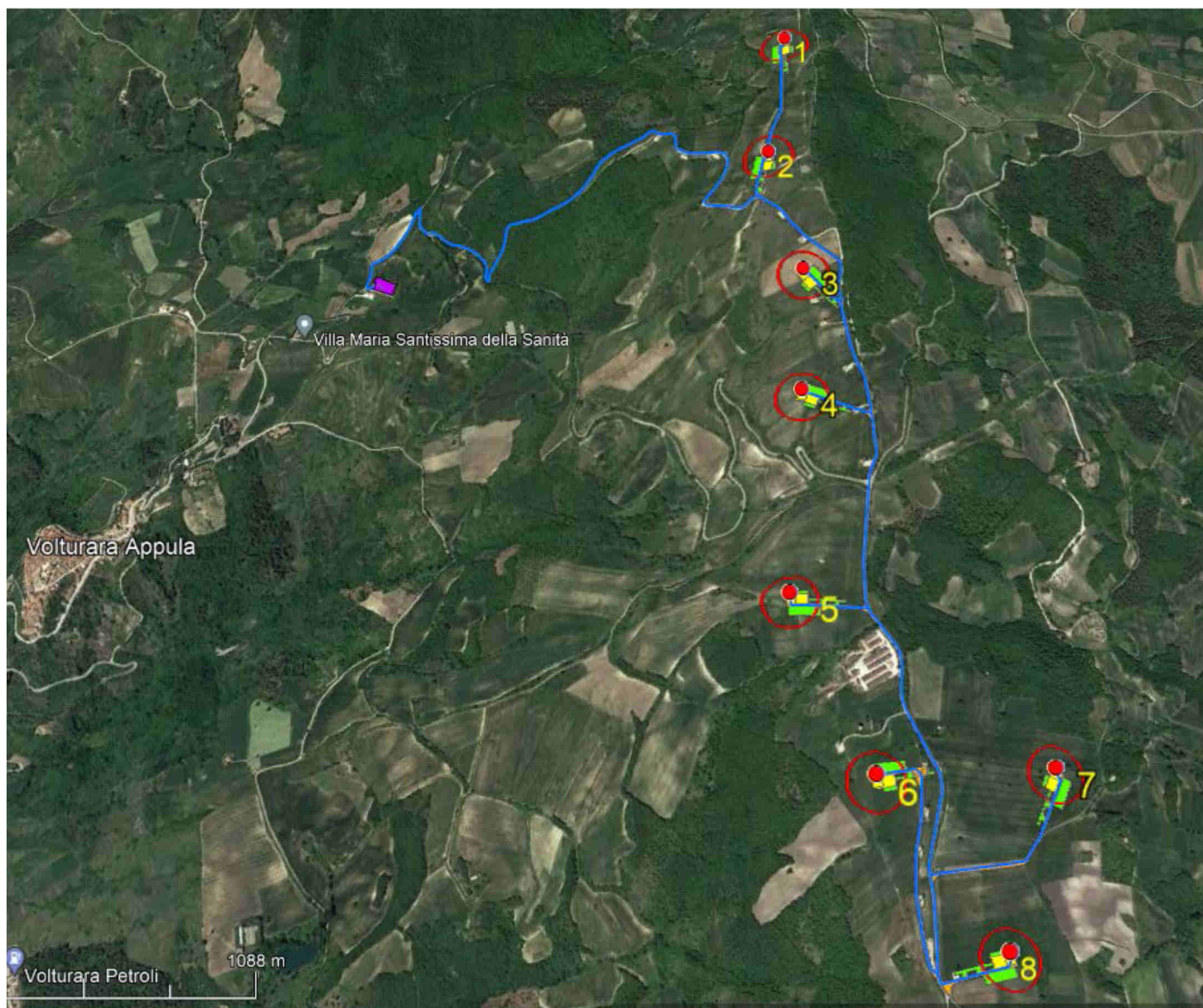


Figura 1. Inquadramento geografico dell'area di intervento relativamente all'impianto "B"

B_86VTAD7-IR_Edison_VolturaraMotta					
N WTG	Coordinate Asse WGS 84 UTM33		Dati Catastali		
	X	Y	Comune	Foglio	P.lle
VM01	506702	4595411	Volturara appula	5	147
VM02	506640	4594881		5	199
					201
					202
VM03	506741	4594445		5	224
					223
					136
VM04	506729	4594031		6	183
					186
VM05	506680	4593372	20	85	
VM06	506895	4592855	21	131	
VM07	507388	4592914	Mottamontecorvino	18	204
VM08	507214	4592424		18	203
					215
			196		
			Volturino	25	5
25	6				
SSEU	505297	4594767	Volturara appula	4	212

Figura 2. Coordinate in asse degli aereogeneratori e posizione sul territorio



Come già evidenziato nei paragrafi precedenti l'intervento di Integrale Ricostruzione Parchi Eolici "Volturara- Motta " prevede la sostituzione di 19 WTG da 0,6 MW con 8 WTG da 6,60 MW prevede una potenza complessiva pari a 52,8 MW futuri a fronte di 11,4 MW attuali.

L'impianto eolico avrà le seguenti caratteristiche generali:

- N° 8 aerogeneratori di potenza unitaria nominale fino a 6,6 MW del tipo Siemens-Gamesa SG 6.6 con altezza totale alla punta pala (TIP) fino a 180 mt;
- 8 cabine di trasformazione poste all'interno della torre di ogni aerogeneratore;
- 8 Plinti e pali di fondazione degli aerogeneratori;
- 8 Piazzole temporanea ad uso cantiere, manovra e montaggio;
- Nuova viabilità per una superficie complessiva di circa 27891 mq per il progetto "B"
- Un cavidotto interrato interno in media tensione a 30 kV per il trasferimento dell'energia prodotta dagli aerogeneratori dalla cabina di smistamento di lunghezza scavo circa 5,2 Km per il progetto "B"
- Un cavidotto esterno interrato di km 2,3 per il collegamento diretto dalla cabina di connessione/raccolta 30 kV alla Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150 kV di Volturara Appula mediante le infrastrutture esistenti di proprietà per l'impianto "B"

Pertanto dalla relazione geologica:

IMPIANTO B + Sottostazione Elettrica

Gli Aerogeneratori 1-2-3-4-5 e 6 ricadono sui terreni appartenenti al Flysch di Faeto (FAE) costituito da Alternanza di torbiditi calciclastiche e marne calcaree di colore biancastro con argille marnose di colore verdastro.

Le torbididiti sono rappresentate da calcareniti a granulometria variabile da fine a grossolana dicoloro prevalentemente biancastro. Lo spessore della formazione è dell'ordine dei 500 metri, poggia con contatto stratigrafico sul Flysch Rosso e passa per alternanza alle marne argillose di Toppo Capuana.

L'Aerogeneratore 7 ricade sui terreni appartenenti alla formazione del Flysch Rosso (FYR) costituito da Alternanza di argilliti policrome (grigio-verde e rosso) con calcareniti e calcilutiti in strati aventi spessori variabili da pochi centimetri ad alcuni decimetri, Lo spessore stimato è dell'ordine dei 300 metri.

L'Aerogeneratore 8 ricade sui terreni appartenenti a Depositi di Versante (a) costituiti da clasti eterometrici di natura calcarea e silicoclastici in matrice argillosa bruno nerastra. Lo spessore è variabile da 2-3 metri fino 7-8 metri, poggiano prevalentemente sul substrato del Flysch di Faeto, secondariamente sul Flysch Rosso.

La Sottostazione Elettrica esistente ricade su terreni appartenenti a Depositi di frana (**a1a**), accumuli gravitativi caotici a prevalente componente argillosa-limosa ed è stata già oggetto di un intervento di consolidamento.

Il cavidotto interno al Parco attraversa tutt'e tre le formazioni precedentemente descritte anche se essenzialmente per un buon 95% per cento insiste su terreni appartenenti al Flysch di Faeto, come pure **il cavidotto esterno**, ovvero il cavidotto che parte dall'impianto per arrivare fino alla Sottostazione

Elettrica in agro del comune di Volturara insiste essenzialmente sul Flysch di Faeto e una piccola parte sul Flysch Rosso, quella parte che si allaccia alla Sottostazione insiste sui depositi di frana.

Si precisa che tutt'e due le formazioni, Flysch di Faeto e Flysch Rosso, sono ricoperte da terre di alterazione superficiale di spessore variabile.

Si precisa che tutt'e tre le formazioni sono ricoperte da terreni di alterazione superficiale di spessore variabile.

IMPIANTO B - Modello geologico-geotecnico AEROGENERATORI

AEROGENERATORI 1- 2 - 3 - 4 - 5 e 6 IMPIANTO B

CONDIZIONE DI STABILITA':	Area con pendenza media del 10-18% verso Sudovest non vi sono segni manifesti di movimenti franosi superficiali Unità tettoniche dalle più antiche alle più recenti L'area di intervento insiste essenzialmente sull'unità tettonica del FLYSCH di Faeto, alternanze di calcareniti e calciluti biancastre con argilliti dello stesso colore, argille marnose verdastre e passa per alternanza alle Marne Argillose di Topo Capuano (TPC).
COEFFICIENTE D'INTENSITA' SISMICA definito nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006	ZONA 2 (Sismicità $0.15 < PGA \leq 0.25$ g) PERICOLOSITA' DEL SITO $0.150 < PGA \leq 0.175$ g
CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE	CATEGORIA "B" Depositi di sabbie e ghiaia addensate o di argille consistenti Vs30 = 452,3 m/s ;

CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GEOTECNICHE

LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL I LIVELLO, al di sotto della copertura vegetale

LITOLOGIA da 0,90 a 6,60 metri Fitta alternanza di livelli calcarei biancastri farinosi molto fratturati con livelli di argilla marnosa giallo-biancastra, consistente	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE Peso dell'unità di volume $Y = 19.000 \text{ KN/m}^3$ Peso dell'unità di volume Saturo $Y_{sat} = 19.600 \text{ KN/m}^3$ Angolo di attrito (da prove di taglio diretto) $\varphi' = 24.00^\circ$ Coesione drenata (da prove di taglio diretto) $c' = 10.00$ Angolo di attrito (da prove di taglio diretto residuo) $\varphi' = 20.00^\circ$ Coesione drenata (da prove di taglio diretto residuo) $c' = 0.00 \text{ KPa}$ Coesione non drenata $C_u = 100.00 \text{ KPa}$ Modulo Edometrico $E_{ed} = 8.00 \text{ MPa}$ Velocità onde S $V = 428.00 \text{ m/s}$ Modulo di Taglio $G = 350 \text{ MPa}$ Coefficiente di Poisson $\nu = 0.47$ Coefficiente di Winkler $K = 29'575 \text{ IN/m}^2$ Coefficiente tangenziale $K_T = 26'020 \text{ IN/m}^2$ Coefficiente di rigidità verticale dinamico $K_d = 28'415 \text{ IN/m}^2$
--	--

2° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL SECONDO LIVELLO

LITOLOGIA da 6,60 a 17,00 metri Argilliti e argilla marnosa bianco giallastra con livelletti di marne argillose dello stesso colore, alternate a livelli calcarenitici di colore grigio-biancastro e livelli di argilla marnosa verde-giallastra, consistente falda rivenuta a - 6.60 metri dal p.c.	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE Peso dell'unità di volume $Y = 19.00 \text{ KN/m}^3$ Peso dell'unità di volume Saturo $Y_{sat} = 19.60 \text{ KN/m}^3$ Angolo di attrito $\varphi' = 24.00^\circ$ Coesione drenata $c' = 20.00 \text{ KPa}$ Coesione non drenata $C_u = 150.00 \text{ KPa}$ Modulo Edometrico $E_{ed} = 12.00 \text{ MPa}$ Velocità onde S $V = 721 \text{ m/s}$ Modulo di Taglio $G = 1'045 \text{ MPa}$ Coefficiente di Poisson $\nu = 0.43$ Coefficiente di Winkler $K = 45523 \text{ IN/m}^2$ Coefficiente tangenziale $K_T = 40028 \text{ IN/m}^2$ Coefficiente di rigidità verticale dinamico $K_d = 42126 \text{ IN/m}^2$
---	---

3° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL TERZO LIVELLO

LITOLOGIA da 17,00 a 30,00 metri alcareniti fratturati molto consistenti con livelli di argilla marnosa	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE Peso dell'unità di volume $Y_{med} = 20.500 \text{ KN/m}^3$ Peso dell'unità di volume Saturo $Y_{sat} = 21.100 \text{ KN/m}^3$ Angolo di attrito $\varphi'_{med} = 26.00^\circ$ Coesione drenata $c'_{med} = 30.00 \text{ KPa}$ Coesione non drenata $C_u = 300.00 \text{ KPa}$ Modulo Edometrico $E_{ed} = 15.00 \text{ MPa}$ Velocità onde S $V = 1'057 \text{ m/s}$ Modulo di Taglio $G = 2'365 \text{ MPa}$ Coefficiente di Poisson $\nu = 0.39$ Coefficiente di Winkler $K = 80007 \text{ IN/m}^2$ Coefficiente tangenziale $K_T = 55590 \text{ IN/m}^2$ Coefficiente di rigidità verticale dinamico $K_d = 64006 \text{ IN/m}^2$
---	---

TIPO di fondazioni consigliate
Fondazioni su pali di lunghezza pari a 25 metri e diametro 1200 mm per ogni altre ulteriori valutazioni e considerazioni si rimanda al tecnico progettista.

AEROGENERATORI 7 e 8 IMPIANTO B

CONDIZIONE DI STABILITA':

Area con pendenza media del 11% verso SUDEST

segni manifesti di movimenti franosi superficiali

Unità tettoniche dalle più antiche alle più recenti

Unità tettonica Flysch Rosso (FYR)

L'area di intervento insiste essenzialmente sull'unità tettonica del

FLYSCH ROSSO alternanze di argille, argille siltose e argilliti con contatto

con contatto eteropico delle argille variegata (AV) e sulle Argille marnose di

Topo Capuano (TPC), questi materiali sono ricoperti da materiale detritico.

COEFFICIENTE D'INTENSITA' SISMICA

ZONA 2 (Sismicità $0.15 < PGA \leq 0.25 g$)

definito nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006

PERICOLOSITA' DEL SITO $0.150 < PGA \leq 0.175 g$

CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE

CATEGORIA "B" Depositi di sabbie e ghiaia addensate o di argille consistenti

$V_{s30} = 570,2 \text{ m/s}$;

CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GEOTECNICHE

LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL I LIVELLO, al di sotto della copertura vegetale

LITOLOGIA da 0,00 a 5,00 metri

Limo sabbioso argilloso grigio-giallastro, plastico, con venature rossastre, a struttura caotica.

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

Peso dell'unità di volume	Y	=	17.500	KN/m ³
Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat}	=	18.100	KN/m ³
Angolo di attrito (da prove di taglio diretto)	ϕ'	=	16.00	°
Coesione drenata (da prove di taglio diretto)	c'	=	5.00	KPa
Angolo di attrito (da prove di taglio diretto residuo)	ϕ'	=	12.00	°
Coesione drenata (da prove di taglio diretto residuo)	c'	=	0.00	KPa
Coesione non drenata	C _u	=	40.00	KPa
Modulo Edometrico	E _{ed}	=	4.00	MPa
Velocità onde S	V	=	525.00	m/s
Modulo di Taglio	G	=	536	MPa
Coefficiente di Poisson	ν	=	0.46	-
Coefficiente di Winkler	K	=	25'456	KN/m ³
Coefficiente tangenziale	K _T	=	20'123	KN/m ³
Coefficiente di rigidità verticale dinamico	K _d	=	22'027	KN/m ³

2° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL SECONDO LIVELLO

LITOLOGIA da 5,00 a 15,00 metri

Argilla marnosa scistosa di colore avana con venature bluastre, alternate a livelletti di marne dello stesso colore
falda rivenuta a - 4.50 metri dal p.c

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

Peso dell'unità di volume	Y	=	18.50	KN/m ³
Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat}	=	18.90	KN/m ³
Angolo di attrito	ϕ'	=	22.00	°
Coesione drenata	c'	=	10.00	KPa
Coesione non drenata	C _u	=	80.00	KPa
Modulo Edometrico	E _{ed}	=	8.00	MPa
Velocità onde S	V	=	548	m/s
Modulo di Taglio	G	=	586	MPa
Coefficiente di Poisson	ν	=	0.45	-
Coefficiente di Winkler	K	=	30125	KN/m ³
Coefficiente tangenziale	K _T	=	27456	KN/m ³
Coefficiente di rigidità verticale dinamico	K _d	=	28984	KN/m ³

3° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL TERZO LIVELLO

LITOLOGIA da 15,0 a 30,00 metri

Argilla marnosa grigio bluastro con livelletti di marne dello stesso colore

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

Peso dell'unità di volume	Y _{med}	=	20.000	KN/m ³
Peso dell'unità di volume Saturo	Y _{sat}	=	2'045.000	KN/m ³
Angolo di attrito	ϕ'_{med}	=	25.00	°
Coesione drenata	c' _{med}	=	30.00	KPa
Coesione non drenata	C _u	=	300.00	KPa
Modulo Edometrico	E _{ed}	=	15.00	MPa
Velocità onde S	V	=	952	m/s
Modulo di Taglio	G	=	1'890	MPa
Coefficiente di Poisson	ν	=	0.40	-
Coefficiente di Winkler	K	=	60123	KN/m ³
Coefficiente tangenziale	K _T	=	55590	KN/m ³
Coefficiente di rigidità verticale dinamico	K _d	=	58425	KN/m ³

TIPO di fondazioni consigliate

Fondazioni su pali di lunghezza pari a 25 metri e diametro 1200 mm
per ogni altre ulteriori valutazioni e considerazioni si rimanda al tecnico progettista

Modello geologico-geotecnico SSE (VOLTURARA APPULA)

AREA SSE Edison VOLTURARA APPULA (FG)	
CONDIZIONE DI STABILITA':	Area con pendenza media del 21% verso Sudovest Unità tettoniche dalle più antiche alle più recenti Unità tettonica Flysch Rosso (FYR) L'area di intervento insiste essenzialmente sull'unità tettonica del FLYSCH ROSSO alternanze di argille, argille siltose e argilliti con contatto Tettonico con il Flysch di Faeto
COEFFICIENTE D'INTENSITA' SISMICA	ZONA 2 (Sismicità $0.15 < PGA \leq 0.25$ g)
definito nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006	PERICOLOSITA' DEL SITO $0.150 < PGA \leq 0.175$ g
CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE	CATEGORIA "C" Depositi di sabbie e ghiaia mediamente addensate o di argille mediamente consistenti $V_{s30} = 358,1$ m/s ;

CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GEOTECNICHE

LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL I LIVELLO

LITOLOGIA da 0,00 a 3,20 metri					
Terreno argilloso di colore grigio nerastro, saturo, ricco di sostanze organiche, molto plastico e molto compressibile (colluviale) falda a 2,50 metri	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y	=	17,820 KN/m ³
		Contenuto naturale d'acqua		=	41,580 %
		Angolo di attrito (da prove di taglio diretto)	φ'	=	18,20
		Coesione drenata (da prove di taglio diretto)	c'	=	24,30
		Coesione non drenata	C_u	=	40,00 KPa
		Modulo Edometrico	E_{ed}	=	2,20 MPa
		Velocità onde S	V	=	180,00 m/s
		Modulo di Taglio	G	=	59 MPa
		Coefficiente di Poisson	n	=	0,32 -
		Coefficiente di Winkler	K	=	11,767 EN/m ³
		Coefficiente tangenziale	K_r	=	7,627 EN/m ³
		Coefficiente di rigidità verticale dinamico	K_d	=	8,782 EN/m ³

2° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL SECONDO LIVELLO

LITOLOGIA da 3,20 a 6,30 metri					
Argille grigio-giallastre e beige con livelletti calcarenitici, consistente	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y	=	18,500 KN/m ³
		Contenuto naturale d'acqua		=	29,000 %
		Peso dell'unità di volume: Saturo	Y_{sat}	=	18,950 KN/m ³
		Angolo di attrito (da prove di taglio diretto)	φ'	=	22,00
		Coesione drenata (da prove di taglio diretto)	c'	=	20,00
		Coesione non drenata	C_u	=	100,00 KPa
		Modulo Edometrico	E_{ed}	=	7,00 MPa
		Velocità onde S	V	=	340,00 m/s
		Modulo di Taglio	G	=	217 MPa
		Coefficiente di Poisson	n	=	0,35 -
		Coefficiente di Winkler	K	=	34,323 EN/m ³
		Coefficiente tangenziale	K_r	=	24,457 EN/m ³
		Coefficiente di rigidità verticale dinamico	K_d	=	28,154 EN/m ³

3° LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE RELATIVE AL TERZO LIVELLO

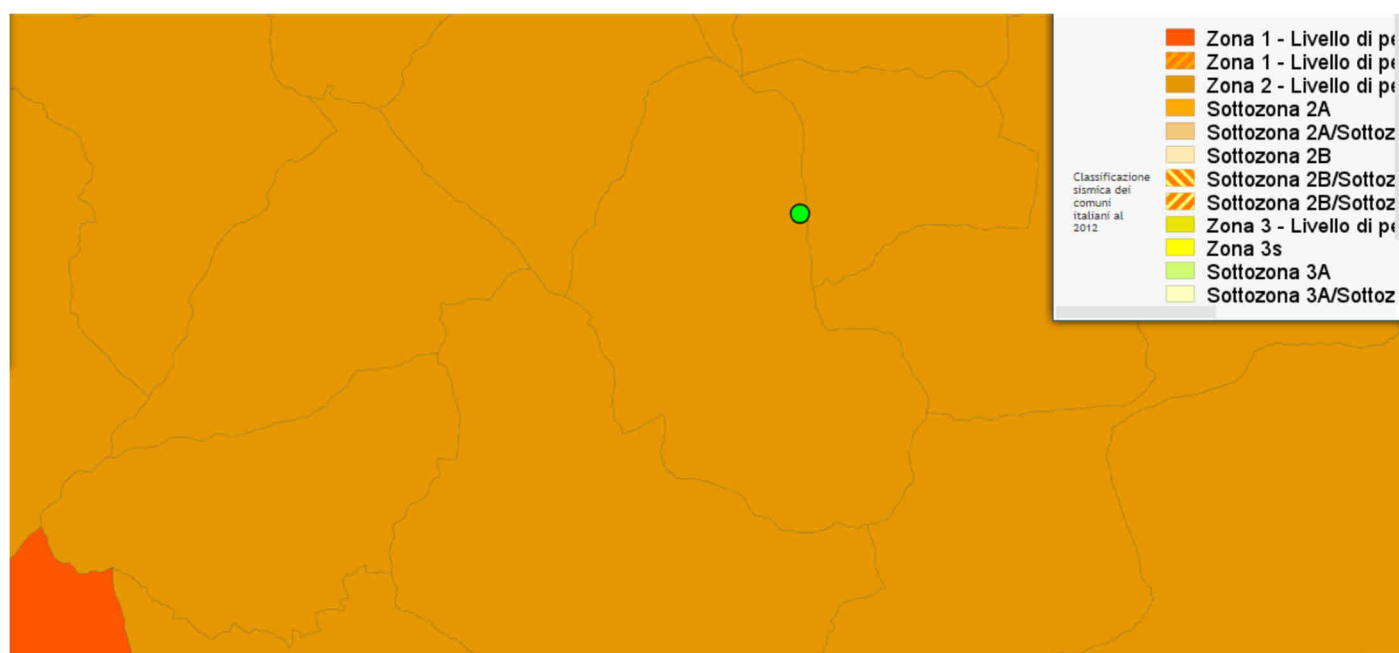
LITOLOGIA oltre i 6,30 metri					
Argille marnose prevalentemente grigiastre con venature bluastre e verdastre con livelli calcarenitici consistente	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Peso dell'unità di volume	Y	=	19,210 KN/m ³
		Contenuto naturale d'acqua		=	28,930 %
		Peso dell'unità di volume: Saturo	Y_{sat}	=	19,410 KN/m ³
		Angolo di attrito (da prove di taglio diretto)	φ'	=	27,81
		Coesione drenata (da prove di taglio diretto)	c'	=	19,20
		Coesione non drenata	C_u	=	150,00 KPa
		Modulo Edometrico	E_{ed}	=	10,00 MPa
		Velocità onde S	V	=	389,00 m/s
		Modulo di Taglio	G	=	287 MPa
		Coefficiente di Poisson	n	=	0,47 -
		Coefficiente di Winkler	K	=	53,936 EN/m ³
		Coefficiente tangenziale	K_r	=	39,324 EN/m ³
		Coefficiente di rigidità verticale dinamico	K_d	=	45,306 EN/m ³

La realizzazione dei 8 Aerogeneratori ivi compresi strade di accesso, piazzole e cavidotto, con i dovuti accorgimenti tecnici che consentiranno di mantenere intatto il sistema drenante della zona e renderanno le opere in progetto perfettamente compatibili con il sistema idrogeologico della zona.

Si attesta la **PIENA COMPATIBILITÀ IDROGEOLOGICA** delle opere in progetto con il reticolo idrografico e con il sistema idrogeologico locale e con l'intero bacino idrogeologico.

4. CARATTERISTICHE SISMICHE

Si illustra di seguito la Classificazione sismica dei comuni di Volturara Appula, Motta Montecorvino, Volturino e Alberona secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 rilasciata il 20 marzo 2003 sulla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003 aggiornata al 2006



Individuazione del comune di **Volturara Appula e Motta Montecorvino** in funzione della classificazione sismica

	Classificazione 2003	PGA (g)
Comune di MOTTA Montecorvino	Zona 2	0.15 g < PGA < 0.25 g
Comune di Volturara Appula	Zona 2	0.15 g < PGA < 0.25 g
Comune di Volturino	Zona 2	0.15 g < PGA < 0.25 g
Comune di Alberona	Zona 2	0.15 g < PGA < 0.25 g

Individuazione dei comuni di **Volturara Appula e Motta Montecorvino** in funzione della classificazione sismica **Zona 2** Livello di pericolosità media

Tutti gli aerogeneratori ricadono in un'area avente tutti la massima accelerazione orizzontale del suolo compresa tra $0.150 < g < 0.175$

La sottostazione SSE ricade in area avente la massima accelerazione orizzontale del suolo compresa tra $0.125 < g < 0.150$.

CATEGORIA	DESCRIZIONE
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi con $V_{s30} > 800$ m/s
B	Ghiaie e sabbie molto addensate o argille molto consistenti con $360 < V_{s30} < 800$ m/s
C	Ghiaie e sabbie mediamente addensate o argille mediamente consistenti con $180 < V_{s30} < 3600$ m/s
D	Terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti con $V_{s30} < 180$ m/s
E	Terreni con sottosuoli di tipo C o D per spessori non superiori a 20 metri, posti su substrato con $V_s > 800$ m/s
S1	Terreni caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/s
S2	Terreni suscettibili di liquefazione o di argille sensitive

In sintesi

IMPIANTO B

- L'area su cui insistono gli Aerogeneratori 1 – 2 – 3 – 4 - 5 – 6 e 7 è classificata come Categoria “B” Depositi di ghiaia e sabbia addensate o di argille consistenti con V_{s30} compreso tra 452.3 m/s e 570.2 m/s.
- L'area su cui insiste l'Aerogeneratore 8 è classificata come Categoria “C” Depositi di ghiaia e sabbia mediamente addensate o di argille di media consistenza con V_{s30} uguale a 345.1 m/s.
- La Sottostazione di Trasformazione Elettrica (SSE) sita nel comune di Volturara è classificata come Categoria “C” Depositi di ghiaia e sabbia mediamente addensate o di argille di media consistenza con V_{s30} uguale a 358.1 m/s.

5.1 CAPACITÀ PORTANTE DI FONDAZIONI DIRETTE

La verifica della capacità portante consiste nel confronto tra la pressione verticale di esercizio in fondazione e la pressione limite per il terreno, valutata secondo *Brinch-Hansen*:

$$q_{lim} = q N_q Y_q i_q d_q b_q g_q s_q + c N_c Y_c i_c d_c b_c g_c s_c + \frac{1}{2} G B' N_g Y_g i_g b_g s_g$$

dove

Caratteristiche geometriche della fondazione:

q = carico sul piano di fondazione

B = lato minore della fondazione

L = lato maggiore della fondazione

D = profondità della fondazione

α = inclinazione base della fondazione

G = peso specifico del terreno

B' = larghezza di fondazione ridotta = $B - 2 e_B$

L' = lunghezza di fondazione ridotta = $L - 2 e_L$

Caratteristiche di carico sulla fondazione:

H = risultante delle forze orizzontali

N = risultante delle forze verticali

e_B = eccentricità del carico verticale lungo B

e_L = eccentricità del carico verticale lungo L

$F_h B$ = forza orizzontale lungo B

$F_h L$ = forza orizzontale lungo L

Caratteristiche del terreno di fondazione:

β = inclinazione terreno a valle

$c = c_u$ = coesione non drenata (condizioni U)

$c = c'$ = coesione drenata (condizioni D)

Γ = peso specifico apparente (condizioni U)

$\Gamma = \Gamma'$ = peso specifico sommerso (condizioni D)

$\phi = 0$ = angolo di attrito interno (condizioni U)

$\phi = \phi'$ = angolo di attrito interno (condizioni D)

Fattori di capacità portante:

$$N_q = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) \exp(\pi \cdot \tan \phi) \quad (\text{Prandtl-Cauchy-Meyerhof})$$

$$N_g = 2(N_q + 1) \tan \phi \quad (\text{Vesic})$$

$$N_c = \frac{N_q - 1}{\tan \phi} \quad \text{in condizioni D} \quad (\text{Reissner-Meyerhof})$$

$$N_c = 5,14 \quad \text{in condizioni U}$$

Indici di rigidezza (condizioni D):

$$I_r = \frac{G}{c' + q' \tan \phi} = \text{indice di rigidezza}$$

$$q' = \text{pressione litostatica efficace alla profondità } D + \frac{B}{2}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} = \text{modulo elastico tangenziale}$$

E = modulo elastico normale

μ = coefficiente di Poisson

$$I_{cr} = \frac{1}{2} \exp \left[\frac{3,3 - 0,45 \frac{B}{L}}{\tan(45 - \frac{\phi'}{2})} \right] = \text{indice di rigidezza critico}$$

Coefficienti di punzonamento (Vesic):

$$Y_q = Y_g = \exp \left[\left(0,6 \frac{B}{L} - 4,4 \right) \tan \phi' + \frac{3,07 \sin \phi' \log(2Ir)}{1 + \sin \phi'} \right] \text{ in condizioni drenate, per } Ir \leq I_{cr}$$

$$Y_c = Y_q - \frac{1 - Y_q}{N_q \times \tan \phi'}$$

Coefficienti di inclinazione del carico (Vesic):

$$i_g = \left(\frac{1 - H}{N + B \times L \times c' \times \cot \text{ang} \phi'} \right)^{m+1}$$

$$i_q = \left(\frac{1 - H}{N + B \times L \times c' \times \cot \phi'} \right)^m$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \times \tan \phi'} \quad \text{in condizioni D}$$

$$i_c = 1 - \frac{m \times H}{B \times L \times c_u \times N_c} \quad \text{in condizioni U}$$

essendo:

$$m = mB \cos^2 \Theta + mL \sin^2 \Theta$$

$$mB = \frac{2 + \frac{B'}{L'}}{1 + \frac{B'}{L'}} \quad mL = \frac{2 + \frac{L'}{B'}}{1 + \frac{L'}{B'}} \quad \Theta = \tan^{-1} \frac{Fh \times B}{Fh \times L}$$

Coefficienti di affondamento del piano di posa (Brinch-Hansen):

$$dq = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \arctg \frac{D}{B'} \quad \text{per } D > B'$$

$$dq = 1 + 2 \frac{D}{B'} \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \quad \text{per } D \leq B'$$

$$dc = dq - \frac{1 - dq}{N_c \times \tan \phi} \quad \text{in condizioni D}$$

$$dc = 1 + 0,4 \arctan \frac{D}{B'} \quad \text{per } D > B' \text{ in condizioni U}$$

$$dc = 1 + 0,4 \frac{D}{B'} \quad \text{per } D \leq B' \text{ in condizioni U}$$

Coefficienti di inclinazione del piano di posa:

$$bg = \exp(-2,7 \alpha \tan \phi)$$

$$bc = bq = \exp(-2 \alpha \tan \phi) \quad \text{in condizioni D}$$

$$bc = 1 - \frac{\alpha}{147} \quad \text{in condizioni U}$$

$$bq = 1 \quad \text{in condizioni U)}$$

Coefficienti di inclinazione del terreno di fondazione:

$$gc = gq = \sqrt{1 - 0,5 \tan \beta} \quad \text{in condizioni D}$$

$$gc = 1 - \frac{\beta}{147} \quad \text{in condizioni U}$$

$$gq = 1 \quad \text{in condizioni U}$$

Coefficienti di forma (De Beer):

$$sg = 1 - 0,4 \frac{B'}{L'}$$

$$sq = 1 + \frac{B'}{L'} \tan \phi$$

$$sc = 1 + \frac{B' Nq}{L' Nc}$$

L'azione del sisma si traduce in accelerazioni nel sottosuolo (effetto cinematico) e nella fondazione, per l'azione delle forze d'inerzia generate nella struttura in elevazione (effetto inerziale). Tali effetti possono essere portati in conto mediante l'introduzione di coefficienti sismici rispettivamente denominati Khi e Igk, il primo definito dal rapporto tra le componenti orizzontale e verticale dei carichi trasmessi in fondazione ed il secondo funzione dell'accelerazione massima attesa al sito. L'effetto inerziale produce variazioni di tutti i coefficienti di capacità portante del carico limite in funzione del coefficiente sismico Khi e viene portato in conto impiegando le formule comunemente adottate per calcolare i coefficienti correttivi del carico limite in funzione dell'inclinazione, rispetto alla verticale, del carico agente sul piano di posa. Nel caso in cui sia stato attivato il flag per tener conto degli effetti cinematici il valore Igk modifica invece il solo coefficiente Ng; il fattore Ng viene infatti moltiplicato sia per il coefficiente correttivo dell'effetto inerziale, sia per il coefficiente correttivo per l'effetto cinematico.

FONDAZIONI AMPLIAMENTO E/O ADEGUAMENTO SOTTOSTAZIONE MT/AT punto SSE

Le fondazioni dell'ampliamento dei fabbricati adibiti ai quadri elettrici saranno del tipo platea armata, ubicate ad una profondità di m 1,20 p.c dello spessore di 40 cm.

NB: Se la risultante dei carichi verticali è eccentrica, B e L saranno ridotte rispettivamente di:

$$B' = B - 2 \cdot e_B$$

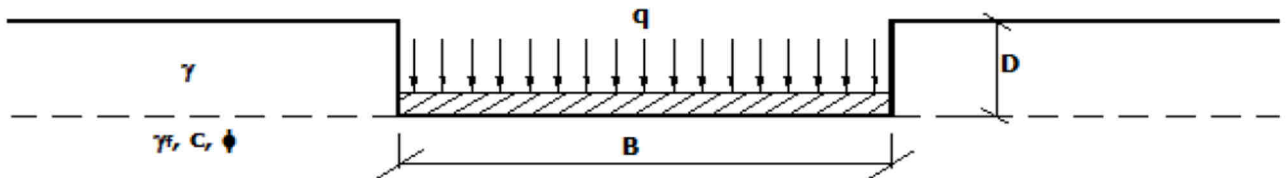
$$L' = L - 2 \cdot e_L$$

e_B = eccentricità parallela al lato di dimensione B;

e_L = eccentricità parallela al lato di dimensione L;

con $B' \leq L'$.

dove:



5,2 Fondazioni Profonde

• CAPACITÀ PORTANTE DI FONDAZIONI SU PALI

a) Pali resistenti a compressione

Il carico ultimo del palo a compressione risulta:

$$Q_{lim} = Q_{punta} + Q_{later} - P_{palo} - P_{attr_neg}$$

Opunta: RESISTENZA ALLA PUNTA

- In terreni coesivi in condizioni non drenate:

$$Q_{punta} = (C_{up} \times N_c + \sigma_v) \times A_p \times R_c$$

essendo

C_{up} = coesione non drenata terreno alla quota della punta

N_c = coeff. di capacità portante = 9

σ_v = tensione verticale totale in punta

A_p = area della punta del palo

R_c = coeff. di *Meyerhof* per le argille S/C

$$R_c = \frac{D+1}{2D+1} \quad \text{per pali trivellati} \quad R_c = \frac{D+0,5}{2D} \quad \text{per pali infissi}$$

D = diametro del palo

- In terreni coesivi in condizioni drenate (secondo *Vesic*):

$$Q_{punta} = (\mu \times \sigma'_v \times N_q + c' \times N_c) \times A_p$$

essendo

$$\mu = \frac{1+2(1-\sin\phi')}{3}$$

$$N_q = \frac{3}{3-\sin\phi'} \exp \left[\left(\left(\frac{\pi}{2} - \phi' \right) \tan \phi' \right) \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2} \right) \times Irr^{\frac{4\sin\phi'}{3(1+\sin\phi')}} \right]$$

Irr = indice di rigidezza ridotta

$$Irr \approx Ir = \text{indice di rigidezza} = \frac{G}{c' + \sigma'_v \tan \phi'}$$

G = modulo elastico di taglio

σ'_v = tensione verticale efficace in punta

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi'$$

- In terreni incoerenti (secondo *Berezantzev*):

$$Q_{punta} = \sigma'_v \times \alpha q \times N_q \times A_p$$

essendo

αq = coeff. di riduzione per effetto silos in funzione di L/D

N_q = calcolato con ϕ^* secondo *Kishida*:

$\phi^* = \phi' - 3^\circ$ per
 pali trivellati
 $\phi^* = (\phi' + 40^\circ) / 2$ per pali infissi

L = lunghezza del palo

Qlater: RESISTENZA LATERALE

- In terreni coesivi in condizioni non drenate:

$$Q_{later} = \alpha \times C_{um} \times A_s$$

essendo

C_{um} = coesione non drenata media lungo lo strato

A_s = area della superficie laterale del palo

α = coeff. riduttivo in funzione delle modalità esecutive:

- per pali infissi:

$$\alpha = 1 \quad \text{per } C_u \leq 25 \text{ kPa (0,25 kg/cm}^2\text{)}$$

$$\alpha = 1 - 0,011(C_u - 25) \quad \text{per } 25 < C_u < 70 \text{ kPa}$$

$$\alpha = 0,5 \quad \text{per } C_u \geq 70 \text{ kPa (0,70 kg/cm}^2\text{)}$$

- per pali trivellati:

$$\alpha = 0,7 \quad \text{per } C_u \leq 25 \text{ kPa (0,25 kg/cm}^2\text{)}$$

$$\alpha = 0,7 - 0,008(C_u - 25) \quad \text{per } 25 < C_u < 70 \text{ kPa}$$

$$\alpha = 0,35 \quad \text{per } C_u \geq 70 \text{ kPa (0,70 kg/cm}^2\text{)}$$

- In terreni coesivi in condizioni drenate:

$$Q_{later} = (1 - \sin \phi') \cdot \sigma'_v(z) \cdot \mu \cdot A_s$$

essendo

$\sigma'_v(z)$ = tensione verticale efficace lungo il fusto del palo

μ = coefficiente di attrito:

$$\mu = \tan \phi' \quad \text{per pali trivellati}$$

$$\mu = \tan (3/4 \cdot \phi') \quad \text{per pali infissi prefabbricati}$$

- In terreni incoerenti:

$$Q_{later} = K \cdot \sigma'_v(z) \cdot \mu \cdot A_s$$

essendo

$\sigma'_v(z)$ = tensione verticale efficace lungo il fusto del palo

K = coefficiente di spinta:

$$K = (1 - \sin \phi') \quad \text{per pali trivellati}$$

$$K = 1 \quad \text{per pali infissi}$$

μ = coefficiente di attrito:

$$\mu = \tan \phi' \quad \text{per pali trivellati}$$

$$\mu = \tan (3/4 \cdot \phi') \quad \text{per pali infissi prefabbricati}$$

Pp: PESO DEL PALO

Patr_neg: CARICO DA ATTRITO NEGATIVO

Patr_neg = 0 in terreni coesivi in condizioni non drenate
 Patr_neg = $As \times \beta \times \sigma'_m$ in terreni incoerenti o coesivi in condizioni drenate

essendo

β = coeff. di *Lambe*

σ'_m = pressione verticale efficace media lungo lo strato deformabile

Il carico ammissibile risulta pari a:

$$Q_{amm} = \left(\frac{Q_{punta}}{\mu_p} + \frac{Q_{later} - P_{palo} - Patr_neg}{\mu_L} \right) \times E_g$$

dove:

μ_p = coefficiente di sicurezza del palo per resistenza di punta

μ_L = coefficiente di sicurezza del palo per resistenza laterale

E_g = coefficiente di efficienza dei pali in gruppo:

- in terreni coesivi:

a) per plinti rettangolari (secondo *Converse-La Barre*):

$$E_g = 1 - \arctan \frac{D}{i} \cdot \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn}$$

con

m = numero delle file dei pali nel gruppo

n = numero di pali per ciascuna fila

i = interasse fra i pali

b) per plinti triangolari (secondo *Barla*):

$$E_g = 1 - \arctan \frac{D}{i} \cdot 7.05E - 03$$

c) per plinti rettangolari a cinque pali (secondo *Barla*):

$$E_g = 1 - \arctan \frac{D}{i} \cdot 10.85E - 03$$

- in terreni incoerenti:

$E_g = 1$ per pali infissi
 $E_g = 2/3$ per pali trivellati

b) Pali resistenti a trazione

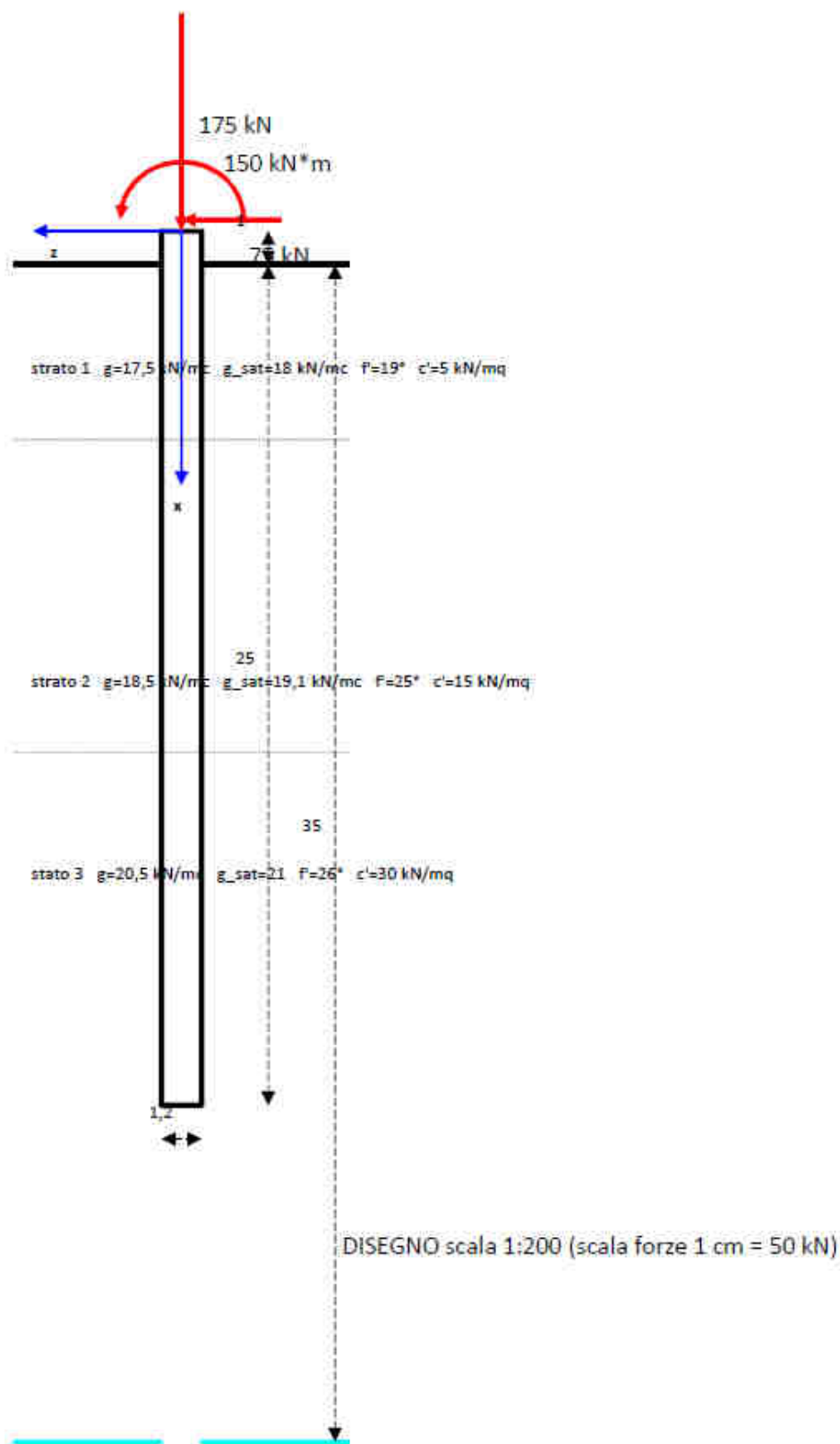
- Il carico ultimo del palo a trazione vale:

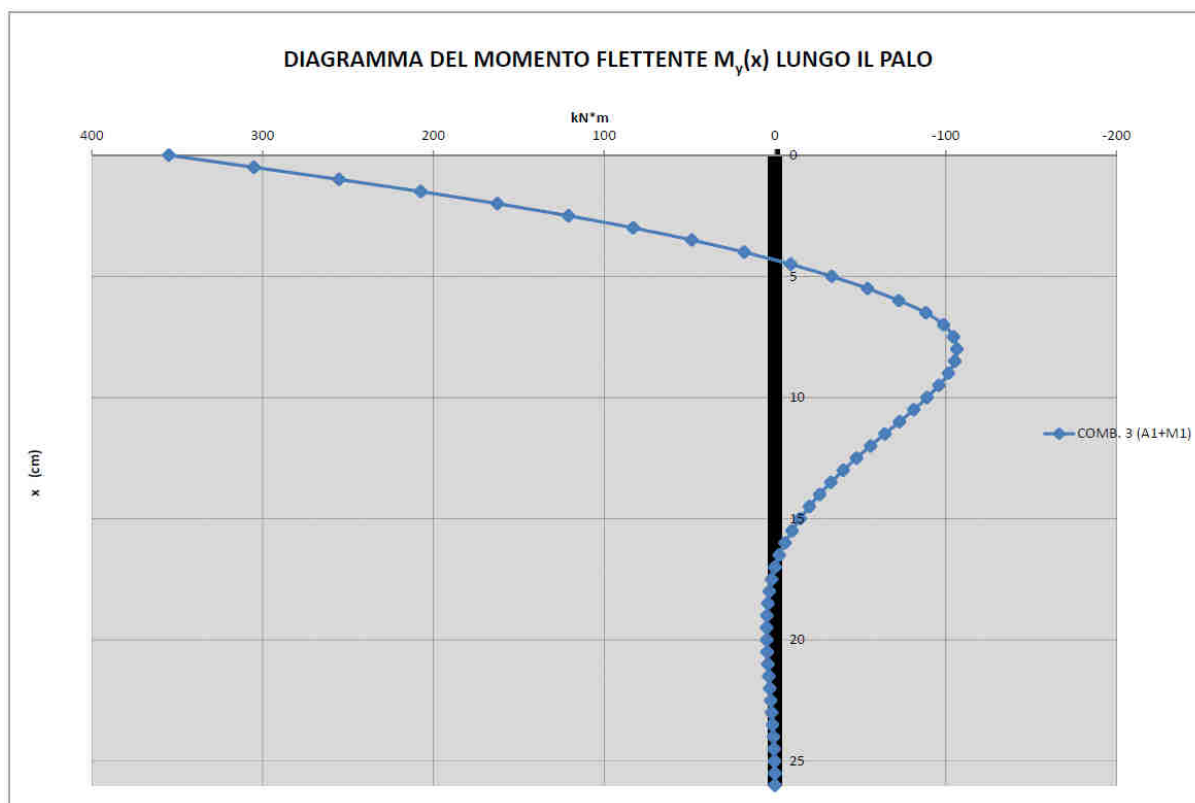
$$Q_{lim} = Q_{later} + P_{palo}$$

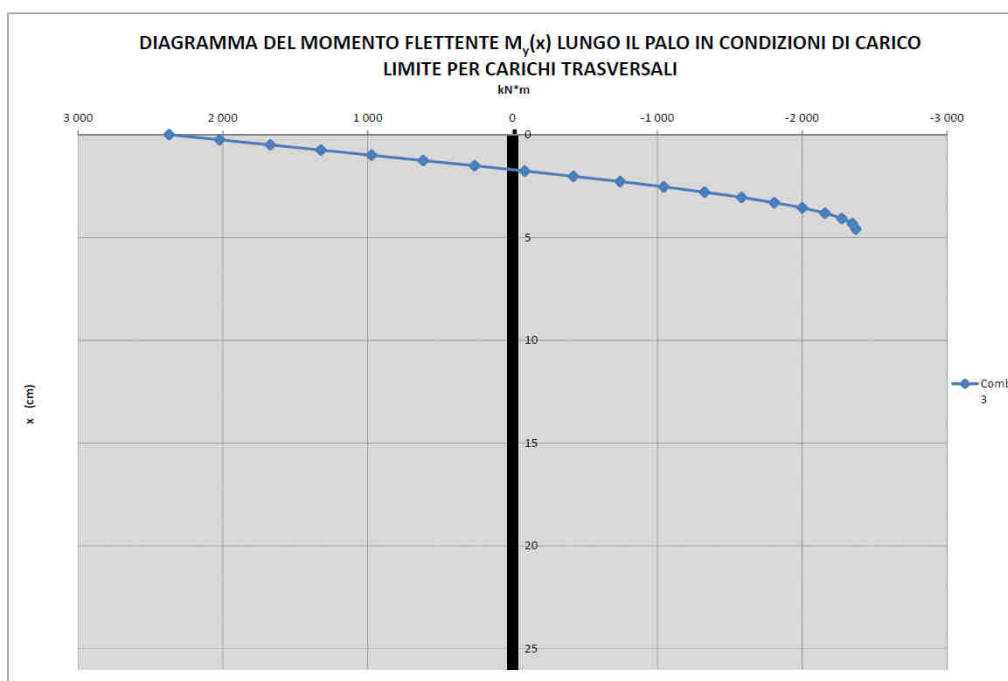
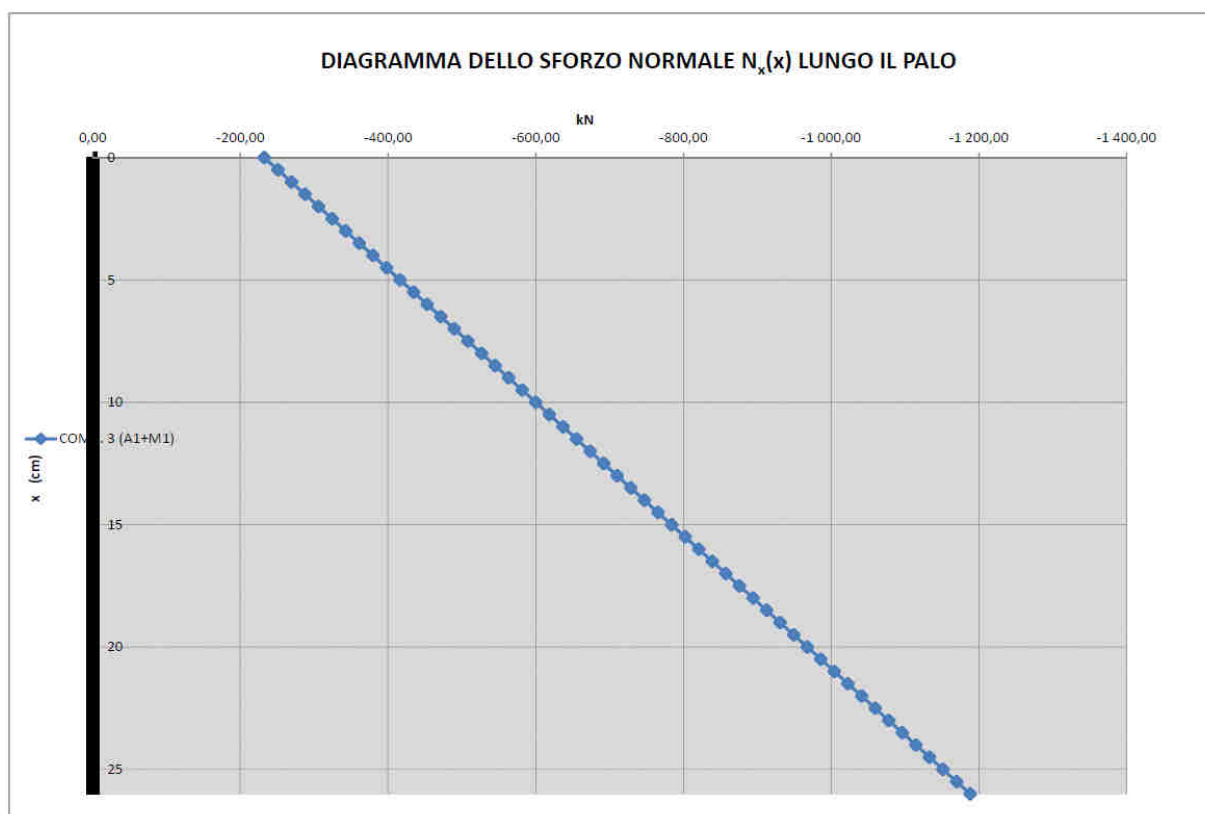
- Il carico ammissibile risulta invece pari a:

$$Q_{amm} = Q_{lim} / \mu_L$$

VERIFICA DI UN PALO TIPO DA 25 METRI NELLE CONDIZIONI GEOTECNICHE IPOTIZZATE:







Per ogni aerogeneratore WTG01, WTG02, WTG03, WTG04 , WTG05, WTG06, WTG07 e WTG08 sarà dimensionata una fondazione in Calcestruzzo di forma circolare tronco conica con un affondamento minimo di 3,5 – 4,00 ml dal piano campagna con opportuni numeri di pali sul perimetro, di diametro min 100-120 cm e profondità tra i 25 – 35 ml. in relazione ai sondaggi in sito.

6.0 CONCLUSIONI

L'indagine presentata in questo studio ha descritto e quantificato i fattori geologici, geotecnici e sismici agenti nell'area. Le verifiche sono state eseguite allo scopo di fornire valutazioni e suggerimenti di supporto alla progettazione dell'intervento in oggetto, così come previsto dalla normativa vigente emanata con D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni". Tali disposizioni di legge stabiliscono i criteri da osservare per la pianificazione delle indagini specialistiche e per le verifiche di fattibilità. I risultati dello studio hanno permesso di caratterizzare i terreni di fondazione sia da un punto di vista geotecnico sia sismico, al fine di verificare la resistenza degli stessi e di fornire le indicazioni sulle più opportune soluzioni tecniche per realizzare l'intervento garantendo i necessari presupposti di sicurezza previsti dalla normativa. L'indagine non ha riscontrato particolari problemi per l'esecuzione dell'opera e non risultano presenti fenomeni gravitativi, in atto o pregressi, che possano potenzialmente interessare l'area in studio. Si può, in generale, affermare che i terreni indagati siano dotati di caratteristiche geotecniche da discrete a buone anche in considerazione delle scelte progettuali che privilegiano fondazioni profonde ad ampio sviluppo verticale su cui insisteranno strutture pesanti e con carichi concentrati degli aerogeneratori.

Si raccomanda di approfondire nella fase di progettazione esecutiva dettagliate prove di indagine su ogni aerogeneratore con sondaggi meccanici e prelievo di campioni indisturbati per le opportune prove di laboratorio, mentre per la SSE saranno sufficienti tre sondaggi non allineati fino a 25 metri di profondità.

Alla luce di quanto sopra esposto si ritiene che il sito in esame, tenuto conto delle caratteristiche geomeccaniche e sismiche dei terreni e della tipologia dell'opera, sia idoneo a ospitare l'opera in progetto.

Manfredonia 30 novembre 2023

Il progettista strutturale

Ing. Castriotta Lorenzo Giovanni

A blue circular professional stamp is visible, containing the text "PROVINCIA DI CASTEL SAN PIERO", "DOTT. ING.", "LORENZO G. CASTRIOTTA", and "N. 1177". Overlaid on this stamp is a handwritten signature in black ink.